

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2003-084324**

(43)Date of publication of application : **19.03.2003**

(51)Int.Cl. **G02F 1/365**
G02B 6/12
G02F 1/313

(21)Application number : **2001-277085** (71)Applicant : **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**

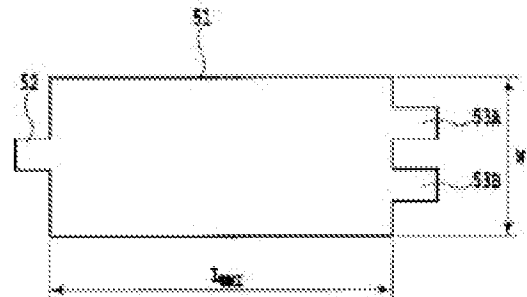
(22)Date of filing : **12.09.2001** (72)Inventor : **KATO MASAO**
OKAMOTO KATSUNARI
KAMITOKU MASAKI

(54) MULTIMODE WAVEGUIDE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a multimode waveguide of which effective operation length can be set sufficiently long and to provide an optical device which has a low operation threshold light intensity.

SOLUTION: The multimode waveguide is constituted by using a material which varies in refractive index with the intensity of propagated light and equipped with a reflecting means which reflects the propagated light in the waveguide at parts of the signal light incidence-side end surface and signal light projection-side end surface of the multimode waveguide. Further, the multimode waveguide is equipped with a refractive index varying means for varying the refractive index of the constitution material of the waveguide. Furthermore, the multimode waveguide is equipped with a control light input part and a control light output part and the refractive index of the constitution material of the waveguide is varied according to the intensity of control light propagated in the waveguide.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-84324
(P2003-84324A)

(43) 公開日 平成15年3月19日 (2003.3.19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 2 F 1/365		G 0 2 F 1/365	2 H 0 4 7
G 0 2 B 6/12		1/313	2 K 0 0 2
G 0 2 F 1/313		G 0 2 B 6/12	H
			N

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-277085(P2001-277085)

(22) 出願日 平成13年9月12日 (2001.9.12)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 加藤 正夫

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 岡本 勝就

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(74) 代理人 10007/481

弁理士 谷 義一 (外1名)

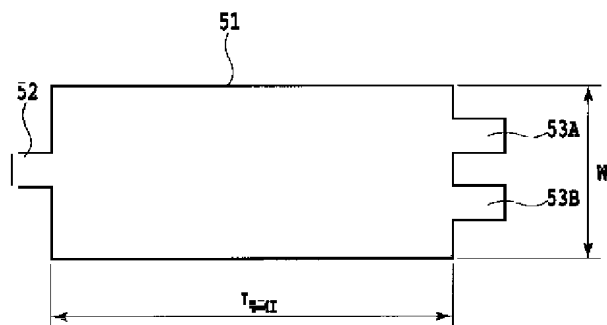
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチモード導波路

(57) 【要約】

【課題】 実効作用長を充分長く設定することが可能なマルチモード導波路を提供し、動作しきい値光強度が低い光デバイスを提供すること。

【解決手段】 伝播する光の強度に応じて屈折率が変化する材料を用いてマルチモード導波路を構成することとし、マルチモード導波路の信号光入射側端面及び信号光出射側端面の一部に、導波路中の伝播光を反射させるための反射手段を備えることとした。また、マルチモード導波路に、導波路の構成材料の屈折率を変化させるための屈折率変化手段を備えることとした。更に、マルチモード導波路に、制御光入力部と制御光出力部とを備え、導波路中を伝播する制御光の強度に応じて導波路の構成材料の屈折率を変化させることとした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 伝播する光の強度に応じて屈折率が変化する材料により構成した導波路部分を備え、該導波路の第1端部から光を入力し、前記導波路部分の中を伝播した光をその第2端部から出力するようにしたことを特徴とするマルチモード導波路。

【請求項2】 前記材料は、シリカガラス、カルコゲナイドガラス、半導体ドーパガラス、または二硫化炭素のいずれかであることを特徴とする請求項1に記載のマルチモード導波路。

【請求項3】 前記第1端部および第2端部の各端面の一部に、前記導波路部分を伝播する光を反射させるための反射手段を設けたことを特徴とする請求項1または2に記載のマルチモード導波路。

【請求項4】 前記導波路部分は、前記材料の屈折率を変化させるための屈折率変化手段を備えたことを特徴とする請求項1乃至3いずれかに記載のマルチモード導波路。

【請求項5】 前記屈折率変化手段は、温度調整手段又は応力付与手段であることを特徴とする請求項4に記載のマルチモード導波路。

【請求項6】 前記導波路部分は、制御光入力部と制御光出力部とを備え、前記導波路部分を伝播する制御光の強度に応じて前記材料の屈折率を変化させるようにしたことを特徴とする請求項1乃至5いずれかに記載のマルチモード導波路。

【請求項7】 光スイッチ、光リミッタ、AES除去フィルタ、またはパルスコンプレッサのいずれかの機能を有することを特徴とする請求項1乃至6いずれかに記載のマルチモード導波路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マルチモード導波路およびこれを用いた光デバイスに関し、より詳細には、伝播する光の強度に応じて屈折率が変化する材料からなるマルチモード導波路およびこれを用いた光デバイスに関する。

【0002】

【従来の技術】近年では、コンピュータ通信需要の増大を背景に、光ファイバーの広帯域性を活用し、大容量光通信を可能とするシステムの研究開発が活発化しており、実験的には、波長多重(WDM)技術や光時分割多重(OTDM)技術による数テラbpsの超大容量伝送が達成されている。ここで、WDMとは、信号光を周波数領域で多重する伝送方式であり、OTDMとは、光パルスを光学的に時間多重する伝送方式である。

【0003】このような信号光の伝送方式において重要な役割を担う光デバイスのひとつが全光型光スイッチであり、光通信分野における高速光スイッチとして期待されているだけでなく、これを利用することで、光パル

ス強度のばらつきを抑えて光強度を一律に揃える光リミッタや、光増幅器で生じる自然放出光(AES)を除去するAES除去フィルタや、光パルスのパルス幅を狭くして波形整形をおこなうパルスコンプレッサなどへの、多岐にわたる応用が可能である。

【0004】図12は、これまでに報告されている全光型光スイッチの構成例を説明するための図で、基板11上には2本の単一モードの導波路12、13が設けられ、これらの導波路は、信号光の入力ポートA14、入力ポートB15、及び出力ポートA16、出力ポートB17へと接続されている。

【0005】導波路12、13の斜線で示した直線導波路部分は「光カー媒質」により構成されており、その他の導波路部分は「線形媒質」で構成されている。ここで、「光カー媒質」とは、媒質に入射する光強度に応じてその屈折率が変化する物質を意味する。

【0006】図13は、図12に示した構成の単一モード導波路を備える全光型光スイッチにおいて、入力ポートA14から入射した入力光が、導波路12、13中を伝播して出力ポートA16または出力ポートB17から出射される場合における、各出力ポートからの出力光強度を入力光強度で除して得られる出力率(透過率)の入力光強度依存性を説明するための図である。

【0007】図13に示すとおり、入力光強度が弱い場合には、導波路中を伝播する伝播光の強度も弱く、導波路を構成する光カー媒質の屈折率はほとんど変化しない。その結果、光スイッチング動作は線形となり、入力ポートA14から入力されて導波路中を伝播する信号光の殆どは、入力ポートA14の対角位置にある出力ポートB17へと出力される。

【0008】一方、入力光強度が上がるにつれて、導波路を構成する光カー媒質中を伝播する信号光強度も強くなり、これに伴って、光カー媒質の屈折率は大きくなる。その結果、導波路による方向性結合性が非対称となり、線形結合側の出力ポートである出力ポートB17へ出力されるための光結合率が減少して出力ポートB17の出力率が低下するとともに、出力ポートA16へ出力されるための光結合率が増大して出力ポートA16の出力率が上昇する。更に入力光強度が強くなると、入力光の殆どは、入力ポートA14の平行ポートである出力ポートA16に出力されるようになる。

【0009】このような、入力光強度に応じて各々の出力ポートの出力率が変化するという特性を利用すれば、光パルス強度のばらつきを抑えて光強度を一律に揃える光リミッタや、光増幅器で生じる自然放出光(AES)を除去するAES除去フィルタとして作用する光制御型光デバイスが得られる。

【0010】この他にも、入力光強度に応じて特性が変化するという光学材料の特性を利用した光デバイスとして、利得飽和状態における光増幅器を光リミッターとし

て応用した例が報告されている。

【0011】ここで、利得飽和現象のメカニズムについて簡単に説明すると、まず、希土類添加型の光増幅器（EDFA等）では、利得が反転分布密度に比例するため、利得媒質内の光強度が大きくなり、誘導放出により高いエネルギー準位（上準位）に励起された原子が大量に消費されると、反転分布の減少による利得の減少（利得飽和）が生じる。

【0012】また、半導体型の光増幅器では、誘導増幅過程においてキャリアの消費量が入力光強度に依存して変化するため、入力光強度が強くなるにつれて大量のキャリアが消費される。キャリア消費量が蓄積キャリアに対して無視できない領域では、利得の減少（利得飽和）が生じる。

【0013】このような利得飽和の領域では、強度の強い光信号は、強度の弱い光信号に比較して増幅率が小さくなるため、信号光の振幅（ピーク値）を一定にすることができる。

【0014】図14は、光増幅器の利得飽和特性を説明するための図で、図14（a）は、利得Gの入力光強度依存性を示しており、図14（b）は、出力光強度Iの入力光強度依存性を示している。

【0015】光増幅器が利得飽和領域に達すると、入力された光が増幅作用を受けずに出力されることとなる結果、利得Gは、入力光強度が強くなるにつれて徐々に減少する一方、その出力光強度Iは、入力光強度につれて徐々に増大し、やがて一定値で飽和する。

【0016】図15は、光増幅器が利得飽和することにより、入力光パルスにおける強度のばらつきが等化される様子を説明するための図で、光振幅のばらついた入力光パルス列41が光振幅等化器42に入力され、光振幅等化器42内において入力光パルス列41の光強度のばらつきが等化されて光振幅の揃った出力光パルス列43が出力される。

【0017】なお、この他の光リミッターとして、しきい値特性の異なる2つの過飽和吸収体を備えた光デバイスも報告されている。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】図12に示したような単一モード導波路を備える全光型光スイッチでは、導波路内で非線形現象を誘起するための高強度の光入力が必要となる。これは、導波路内で生じる非線形現象の程度は、光カー媒質の非線形屈折率（ n_2 ）と作用長（ L_{NL} ）、および、入力する信号の光強度（P）の積（ $n_2 \cdot L_{NL} \cdot P$ ）に依存することに起因する。

【0019】次式で示すように、作用長（ L_{NL} ）は、損失（ α ）および光カー媒質の導波路長（L）に依存する。

$$L_{NL} = [1 - \exp(-\alpha L)] / \alpha \quad (1)$$

【0020】単一モード導波路は、光ファイバと比較し

て損失（ α ）が大きいので、式（1）で示したように、単に導波路長（L）だけを長くしても作用長（ L_{NL} ）を十分に大きくすることは困難であるのみならず、製造プロセスとの関係からも、導波路長（L）の設定可能範囲には限界がある。さらに、その設計上の制約から導波路として利用可能な光カー媒質材料にも制限があるため、材料の選択により損失（ α ）を変化させて作用長（ L_{NL} ）を十分に大きく設定することにも限界がある。

【0021】このように、単一モード導波路型の全光型光スイッチでは、作用長（ L_{NL} ）が比較的短く、導波路として使用可能な光カー媒質にも制限があるため、非線形屈折率（ n_2 ）を十分に大きく設定することができず、その結果、スイッチングのしきい値光強度が大きくなり、信号光の入力光強度を大きくしなければ動作しないという問題がある。

【0022】また、上述した光増幅器の利得飽和現象を光スイッチに利用する場合には、強度の弱い光信号が入力されると、信号光が増幅されるのみならず、光増幅器によって発生する雑音（自然放出光：ASE）も増幅されてしまい、光信号のSN比が低下するという問題もあった。

【0023】更に、半導体型光増幅器を利得飽和領域で使用すると、キャリア密度の時定数が光強度の時間変化に比べて遅い場合には、キャリアが感じる光強度は入力光の光強度を時間平均して得られた強度となり、高速の光信号に対しては信号光の振幅を一定に保つことができず、その結果、時間応答特性が生じて光増幅器として適応可能な領域が限定されるという問題もある。

【0024】本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、第1に、伝播損失の小さい材料を用いてマルチモード導波路を構成することにより、光デバイスに備えられるマルチモード導波路の作用長（ L_{NL} ）を充分長く設定することを可能とし、動作しきい値光強度が低い光デバイスを提供することである。

【0025】また、本発明の第2の目的は、シンプルな導波路構造を採用することにより、光カー効果の大きな媒質のマルチモード導波路への使用を可能とし、動作しきい値光強度の低い光デバイスを提供することである。

【0026】また、本発明の第3の目的は、時間応答特性がなく、超高速光パルス列の振幅をも等化可能な高速の光デバイスを提供することである。

【0027】更に、本発明の第4の目的は、信号光のうち、光強度の強い成分のみを選択的に透過するしきい値特性を有し、SN比の低下しない光デバイスを提供することである。

【0028】

【課題を解決するための手段】本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載のマルチモード導

波路は、伝播する光の強度に応じて屈折率が変化する材料により構成した導波路部分を備え、該導波路の第1端部から光を入力し、前記導波路部分の中を伝播した光をその第2端部から出力するようにしたことを特徴とする。

【0029】また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載のマルチモード導波路において、前記材料は、シリカガラス、カルコゲナイドガラス、半導体ドーパガラス、または二硫化炭素のいずれかであることを特徴とする。

【0030】また、請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載のマルチモード導波路において、前記第1端部および第2端部の各端面の一部に、前記導波路部分を伝播する光を反射させるための反射手段を設けたことを特徴とする。

【0031】また、請求項4に記載の発明は、請求項1乃至3いずれかに記載のマルチモード導波路において、前記導波路部分は、前記材料の屈折率を変化させるための屈折率変化手段を備えたことを特徴とする。

【0032】また、請求項5に記載の発明は、請求項4に記載のマルチモード導波路において、前記屈折率変化手段は、温度調整手段又は応力付与手段であることを特徴とする。

【0033】また、請求項6に記載の発明は、請求項1乃至5いずれかに記載のマルチモード導波路において、前記導波路部分は、制御光入力部と制御光出力部とを備え、前記導波路部分を伝播する制御光の強度に応じて前記材料の屈折率を変化させるようにしたことを特徴とする。

【0034】更に、請求項7に記載の発明は、請求項1乃至6いずれかに記載のマルチモード導波路であって、光スイッチ、光リミッタ、AES除去フィルタ、またはバルスコンプレッサのいずれかの機能を有することを特

$$L_{MMI}(\lambda) = n_e(\lambda) \cdot W_e(\lambda)^2 / (N\lambda) \quad (2)$$

【0041】式(2)において、 $n_e(\lambda)$ は、波長 λ の信号光が導波路中を伝播する際の導波路の実効屈折率を意味し、 $W_e(\lambda)$ は、波長 λ の光に対するマルチモード導波路の実効幅を意味する。

$$n_e(\lambda, I(\tau)) = n_e(\lambda) + n_2(\lambda, I(\tau)) \quad (3)$$

【0043】ここで、 $I(\tau)$ は、時刻 τ における入力光の光強度の瞬時値であり、入力光が、強度変調成分をもたない連続光である場合には、 $I(\tau)$ は一定の値をもつスカラーとなる。

【0044】式(3)において、右辺第2項の n

$$L_{MMI}(\lambda, I(\tau)) = [n_e(\lambda) + n_2(\lambda, I(\tau))] W_e(\lambda)^2 / N\lambda \quad (4)$$

【0045】図2は、本発明のマルチモード導波路の最適導波路長が、入力光強度に依存することを説明するための図で、図2(a)は、入力光強度が相対的に弱い場合に導波路長を最適化した(1×2)マルチモード導波

路とする。

【0035】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【0036】まず、本発明のマルチモード導波路およびこれを用いた光デバイスが奏する利点の理解を容易にするために、マルチモード導波路中の信号光の伝搬特性について簡単に説明する。

【0037】マルチモード導波路では、そのセルフイメージング効果により、1の導波路中を伝搬する信号光を分岐することができ、複数の導波路を特別に設けることを要しない。

【0038】図1は、本発明の2分岐型の(1×2)マルチモード導波路の構成を説明するための図で、光カー媒質からなるマルチモード導波路51は、導波路幅 W 、導波路長 L_{MMI} 、および、導波路の特性に対応して定まる高さを有する平板状をなし、この中を信号光が伝播する導波路部である。この導波路部の第1端部である一方の端面には信号光の入力部52が設けられ、これと対向する導波路部の第2端部である他方の端面には、信号光の出力部53A、53Bが設けられている。すなわち、導波路部分の第1端部から光を入力し、前記導波路部分の中を伝播した光がその第2端部から出力されることになる。

【0039】なお、これらのマルチモード導波路51、入力部52、及び、出力部53A、53Bは、同一の材料を一体に成形して得られたものである。

【0040】マルチモード導波路によって分岐可能な光強度の分岐数は、導波路長(L_{MMI})と導波路の実効幅(W_e)の双方に依存し、信号光の波長が λ の場合の分岐数(N)と導波路長($L_{MMI}(\lambda)$)との関係は、次式により与えられる。

【0042】本発明のマルチモード導波路の構成材料は、入力光強度によって屈折率が変化する光カー媒質であるので、導波路の実効屈折率 $n_e(\lambda)$ は、入力光強度によって変化する成分を有し、次式で与えられる。

$n_2(\lambda, I(\tau))$ は、入力光強度によって変化する非線形屈折率を意味し、これを式(2)に代入すると、光カー媒質で構成される N 分岐のマルチモード導波路の導波路長は次式で与えられる。

路61の構成を示し、図2(b)は、入力光強度が相対的に強い場合に導波路長を最適化した(1×2)マルチモード導波路64の構成を示している。

【0046】図2(a)に示したマルチモード導波路6

1は、導波路幅がWで、導波路長が L_{MM1}^A であり、その片端面には、信号光の入力部62が設けられ、他の端面には、信号光の出力部63A、63Bが設けられている。

【0047】図2(b)に示したマルチモード導波路64は、導波路幅がWで、導波路長が L_{MM1}^B であり、その片端面には、信号光の入力部65が設けられ、他の端面には、信号光の出力部66A、66Bが設けられて

$$L_{MM1}^A(\lambda, I(\tau)) = L_{MM1}(\lambda) \quad (5)$$

により求められる。

【0050】一方、入力光強度が強くなると非線形屈折率の影響を無視することができなくなり、導波路長を最適化するためには、図2(b)中に斜線で示した分だけの導波路長の長尺化が必要となり、その最適導波路長は

$$L_{NM1}(\lambda, I(\tau)) = n_2(\lambda, I(\tau))W_e(\lambda)^2 / N\lambda \quad (6)$$

【0052】このように、光カー媒質で構成されたマルチモード導波路では、入力光強度によって最適な導波路長が異なり、入力光の強度に対応した導波路長の設計が必要になることがわかる。

【0053】なお、図2に示したマルチモード導波路の構成は本発明の一構成例にすぎず、導波路に設けられる入力部および出力部の数はこれに限定されるものではなく、 $N \times N$ (N は1以上の任意の整数)の数であってもよい。

【0054】上述したように、本発明のマルチモード導波路の導波路長(L_{MM1})と実効幅(W_e)とを適当に設定することにより、複数の導波路を特別に設けることを要しない、 N 入力 N 出力の全光型光スイッチが実現できる。

【0055】また、本発明のマルチモード導波路の導波路長を、式(4)に基づいて入力光の光パワーに対応するように設計すれば、ASE雑音成分を除去し、かつ、出力光の振幅を一定に揃える光リミッターが実現できる。

【0056】更に、本発明のマルチモード導波路にパルス状の入力光を入射させる場合には、式(3)と式(4)の入力光の光強度の瞬時値 $I(\tau)$ が時間的に変化するため、超高速の光シャッターとして機能し、入力光パルスのうちの強度の強い成分のみを選択的に透過させることが可能となるから、光パルスのコンプレッサーが実現できる。

$$L_{tot, MM1}(\lambda, I(\tau)) = m L_{MM1}(\lambda, I(\tau)) \quad (7)$$

とすることで、上述の問題を回避することができる。

【0060】なお、本発明の全光型光スイッチに備えられるマルチモード導波路の形状は、図3中に示した形状に限定されるものではなく、式(2)を満足する限度において達成可能な任意の形状であってもよい。

【0061】このようなマルチモード導波路に、反射膜やミラーを備えることとして、導波路中を伝搬する光を多重反射させる機能をもたせることとしてもよい。

いる。

【0048】なお、これらのマルチモード導波路61、64と、入力部62、65、及び、出力部63A、63B、66A、66Bとは、同一の光カー媒質材料を一体に成形して得られたものである。

【0049】図2(a)に示すように、入力光強度が弱く、式(3)の右辺第2項で示す非線形屈折率の影響がほとんど無視できる場合の導波路長の最適値は、

$$L_{MM1}^B(\lambda, I(\tau)) \text{ となる。}$$

【0051】この場合の導波路長の変化量 $L_{NM1}(\lambda, I(\tau))$ は、式(2)、式(4)、および、式(5)に基づいて、次式により与えられる。

【0057】図3は、本発明のマルチモード導波路を入出力用光ファイバと接続させて構成した光デバイスの構成例を説明するための図で、入力用光ファイバ71と、出力用光ファイバ72と、導波路幅W、導波路長 L_{MM1} の平板状の1×1型マルチモード導波路73とから構成されており、光ファイバ71、72と、マルチモード導波路73との接合部には、光ファイバ71、72とマルチモード導波路73の入出力部との開口径を一致させるためのスポットサイズ変換部74、75が備えられている。なお、スポットサイズ変換部74、75は、入出力用光ファイバとマルチモード導波路とを高效率で結合させるため、融着や突き合わせ、若しくはレンズ等を使用した接合がなされている。

【0058】図3に示したマルチモード導波路73は、伝搬損失が小さい光カー媒質材料で構成されているため、導波路長 $L_{MM1}(\lambda, I(\tau))$ は長く設定することが好ましい。また、導波路内の光パワー密度(単位体積あたりの光パワー)を高くして媒質への光カー効果効率を上げるためには、導波路幅Wは単一モード導波路としないことを条件に狭く設定することが好ましい。

【0059】式(2)によれば、導波路幅Wを小さくすると導波路長 L_{MM1} を短くしなければならないこととなり、導波路長を長く設定すべしとの上述した要請と矛盾することとなるが、導波路の全長 $L_{tot, MM1}(\lambda, I(\tau))$ を、式(2)から求められる導波路長 $L_{MM1}(\lambda, I(\tau))$ の整数倍(m 倍)になるように設計し、

【0062】図4は、本発明の多重反射型マルチモード導波路の構成例を説明するための図で、図4(a)は、比較のために、図3において示したものと同様のマルチモード導波路81の構成を示しており、図4(b)は、マルチモード導波路の導波路端面の入出力部分以外の部分を金(Au)コーティングすることにより全反射ミラー83とした多重反射型マルチモード導波路82を示している。

【0063】図4(b)に示すように、多重反射型マルチモード導波路82中を伝播する光は、導波路端面の入出力部分以外の部分にコーティングされたAu膜により多重に反射され、その結果、導波路82中での光路長が反射回数に相当する分だけ長くなり、実効的な導波路長 $L = f \cdot f_{MM1}$ を長くすることができる。

【0064】図4(b)に示した多重反射型マルチモード導波路82の導波路長 L_{MM1}^B は、図4(a)に示したマルチモード導波路81の導波路長 $L_{MM1}^A(\lambda, I(\tau))$ の1/3に相当し、入力光が多重反射マルチモード導波路82内を1.5往復した後のセルフイメージングは、図示しない出力ポートと結合するように設計されている。

【0065】従って、このような多重反射型マルチモード導波路82を光スイッチとして利用した場合には、その実効的な作用長は、幾何学的作用長の3倍となり、高反射率のAuコーティングを施し、全反射ミラー83によってほぼ100%の反射をおこさせることにより、同じ幾何学的導波路長のマルチモード導波路と比較して、スイッチングのしきい値光強度を約1/3とすることができる。

【0066】図5は、本発明のマルチモード導波路の他の構成例を説明するための図であり、図5(a)はその平面図であり、図5(b)はその断面図である。

【0067】導波路長 L_{MM1} 、導波路幅 W で高さ H の平板状の導波路92は、その片端面に信号光の入力部95が設けられ、他の端面に信号光の出力部96が設けられており、上面にオーバークラッド(OC)93が、下面にアンダークラッド(UC)94が設けられて、全体としてひとつのマルチモード導波路91を構成している。

【0068】ここで、導波路92の上下面の上に薄膜形成ができ、かつ、その薄膜をエッチング等により成形することができれば、導波路92の表面を光学的に平坦に加工することが可能となる。そして、そのような光学的に平坦な表面を有する導波路においては、その上下両表面に接する空気等の外気をクラッドとすることが可能となり、オーバークラッド(OC)93とアンダークラッド(UC)94とを設けないシンプルな構造のマルチモード導波路とすることができる。

【0069】図6は、オーバークラッド(OC)とアンダークラッド(UC)を不要としたシンプルな構成の導波路の例を説明するための図で、図6(a)はその平面図であり、図6(b)はその断面図である。導波路長 L_{MM1} 、導波路幅 W で高さ H の平板状の導波路101は、その片端面には、信号光の入力部102が設けられ、これに対向する他の端面には、信号光の出力部103が設けられている。

【0070】図5および図6に示した構成の導波路において、光が伝搬する導波路(コア部分)の屈折率が高

く、かつ、クラッドとの比屈折率差 Δ が大きい場合には、導波路厚 H は、入力光の波長をコア部の屈折率で除して得られる値(入力光の波長/コア部の屈折率)程度にまで低く設計することができるので、導波路内の光パワー密度を上げることができる。

【0071】この場合、光パワー密度を上げると、入出力ファイバ径と比較してスポットサイズが小さくなるため、図示しない入出力ファイバとマルチモード導波路との結合部においてスポットサイズの変換を行い、スポットサイズと入出力ファイバ径とを一致させることが必要となる。

【0072】なお、マルチモード導波路の構造は、図5及び図6に示した構造に限定されるものではなく、OCやUCの積層数やその形状も所望の数及び形状とすることが可能である。

【0073】次に、種々の光カー媒質材料によりマルチモード導波路を構成した実施例について述べる。

【0074】図7は、本発明のマルチモード導波路の導波路長と、これを光スイッチとして利用した場合の入力光強度しきい値との関係を説明するための図で、これらのマルチモード導波路は、光カー媒質として、シリカガラス、カルコゲナイトガラス、半導体ドーパガラス、および二硫化炭素を用い、導波路長非線形屈折率に起因して変化する実効導波路長と幾何学的導波路長との変化(導波路長変化)が1mmとなるように設計されている。

【0075】図7に示した測定結果より、導波路長を長くするほど、光スイッチに必要な入力光強度のしきい値が小さくなることがわかる。また、導波路長一定の条件で比較した入力光強度のしきい値は、光カー媒質として、半導体ドーパガラス、カルコゲナイトガラス、二硫化炭素、シリカガラスを用いたマルチモード導波路の順に低くなる。これは、これら光カー媒質の非線形屈折率が、半導体ドーパガラス $2.0 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{W}$ 、カルコゲナイトガラス $6.8 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{W}$ 、二硫化炭素 $3.1 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{W}$ 、シリカガラス $2.7 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ であり、半導体ドーパガラス、カルコゲナイトガラス、二硫化炭素、シリカガラスの順に小さいことに起因している。

【0076】なお、上述の光カー媒質はあくまでも例示にすぎず、マルチモード導波路の作製が可能で、かつ、光カー定数(非線形屈折率)が大きい材料であれば、気体、液体、固体(ガラス、有機材料、無機材料等)のいずれの材料でもよい。

【0077】また、図8は、導波路長が40mmのマルチモード導波路において、入力光による導波路長変化が、それぞれ、1.0mm、0.5mm、0.1mm、および、0.01mmとなるように設計された導波路の、非線形屈折率(n_2)と入力光強度との関係を示しており、いずれの導波路長差の導波路においても、入力

光強度が強くなるにつれて非線形屈折率 (n_2) が減少することがわかる。

【0078】従って、設計するマルチモード導波路に求められる特性値に応じて、最適な非線形屈折率を有する光カー媒質材料を選択すればよい。

【0079】次に、入力光強度以外の手段により導波路の屈折率を制御する構成のマルチモード導波路の構成例を示す。

【0080】図9は、本発明のマルチモード導波路の構成例を説明するための図で、光カー媒質の導波路131の入出力端面部以外の側面部分にはヒータ132が備えられており、ヒータ132により光カー媒質を加温・冷却することで、媒質の温度を変化させ、温度により媒質の屈折率が変化するという熱光学効果を利用して導波路131の屈折率制御を行っている。

【0081】すなわち、このような構成のマルチモード導波路を光スイッチとして利用すれば、カー媒質の屈折率を変化させるためのバイアスとしてヒータ132を使用することでスイッチングのしきい値光強度を制御することが可能となる。

【0082】なお、図9に示す構成は例示にすぎず、ヒータの大きさ及び形状はこれに限定されるものではなく、導波路の所望の面や部位にのみヒータを設けることとしてもよく、更には、導波路の内部にヒータを設けることとしてもよい。

【0083】図10は、入力光以外の手段により導波路の屈折率を制御する本発明のマルチモード導波路の他の構成例を説明するための図で、導波路141の両側面には、光カー媒質に機械的な歪を与えるための応力付与部142A、142Bが備えられており、負荷された応力に応じて発生する媒質内の歪により屈折率が変化する効果(光弾性効果)により導波路141の屈折率を制御している。

【0084】従って、このような構成のマルチモード導波路を光スイッチとして利用すれば、応力歪を屈折率変化のバイアスとして使用することでスイッチングのしきい値光強度を制御することが可能となる。

【0085】なお、図10に示す構成は例示にすぎず、応力付与部の大きさ及び形状はこれに限定されるものではなく、導波路の所望の面や部位にのみ応力付与部を設けることとしてもよく、更には、導波路応力付与部全体を気密性の高い容器に封入し、液体または気体により加減圧することで応力を付与することとしてもよい。

【0086】図11は、信号光とは別の入射光である制御光を導波路中に伝播させることにより導波路の屈折率を制御する、本発明のマルチモード導波路の構成例を説明するための図である。

【0087】マルチモード導波路151の一方の端面には、信号光入力部152及び制御光入力部154が設けられており、他方の端面には、信号光出力部153及び

制御光出力部155が設けられている。

【0088】制御光入力部154からマルチモード導波路151へと入射した制御光は、マルチモード導波路151中を伝播して制御光出力部155へと出力されるが、制御光がマルチモード導波路151中を伝播することにより、その構成材料である光カー媒質の屈折率が変化する。

【0089】従って、このような構成のマルチモード導波路を光スイッチとして利用すれば、制御光を屈折率変化のバイアスとして利用することにより、光スイッチングのしきい値光強度が制御できる。

【0090】ここで、制御光として用いられる光の波長には特に制限はなく、また、時間的に強度変化のない連続光でも、光パルス列であってもよい。

【0091】なお、図11に示した導波路の構成は例示にすぎず、光入力部および光出力部の数はこれに限定されるものではなく、 $N \times N$ (N は1以上の整数)の数とすることが可能であり、マルチモード導波路の形状も、式(2)を満足する限度において任意の形状とすることが可能である。

【0092】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のマルチモード導波路は、伝播する光の強度に応じて屈折率が変化する材料を用いる構成としたので、伝播損失の小さなマルチモード導波路を提供することが可能となる。

【0093】また、マルチモード導波路をシンプルな構成としたので、非線形屈折率の大きな光カー媒質を導波路構成材料とすることが可能となる。

【0094】また、大きな非線形屈折率 (n_2) と長い作用長 (L_{NL}) を有する光カー媒質のマルチモード導波路を光スイッチとして利用することにより、スイッチングのしきい値光強度が低い全光型光スイッチを提供することが可能となる。

【0095】また、そのような光スイッチは、動作原理として光カー効果を利用しているため、ピコ秒からサブピコ秒 ($10^{-13} \sim 10^{-12}$ 秒) のスイッチング速度を得ることができ、時間応答特性のない、超高速の全光型光スイッチを提供することが可能となる。

【0096】さらに、強度の強い入力光のみを選択的に透過させることにより、光増幅器によって生じるASE成分を除去してSN比の低下を抑制したり、或いは、強度の強い入力光成分のみを選択的に取り除くことにより、出力を任意の光強度に揃えることが可能な光リミッタ、AES除去フィルタ、パルスコンプレッサ等を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の(1×2)マルチモード導波路の構成を説明するための図である。

【図2】本発明の(1×2)マルチモード導波路の構成例を説明するための図で、(a)は、入力光強度が相対

的に弱い場合に導波路長を最適化したマルチモード導波路61の構成を示す図であり、(b)は、入力光強度が相対的に強い場合に導波路長を最適化したマルチモード導波路64の構成を示す図である。

【図3】本発明の(1×1)マルチモード導波路の構成例を説明するための図である。

【図4】本発明の(1×1)マルチモード導波路の側面に全反射ミラー備える構成とした例を説明するための図で、(a)は、比較のために示したマルチモード導波路の構成を示す図であり、(b)は、マルチモード導波路の導波路端面の入出力部分以外の部分を金(Au)コーティングすることにより全反射ミラーとした多重反射型マルチモード導波路を示す図である。

【図5】本発明の(1×1)マルチモード導波路の構成例を説明するための図で、(a)はその平面図であり、(b)はその断面図である。

【図6】本発明の(1×1)マルチモード導波路の別の構成例を説明するための図で、(a)はその平面図であり、(b)はその断面図である。

【図7】本発明のマルチモード導波路の、導波路長と入力光強度との関係を説明するための図である。

【図8】本発明のマルチモード導波路の、導波路長と入力光強度との関係を説明するための図である。

【図9】本発明の(1×1)マルチモード導波路の構成例を説明するための図である。

【図10】本発明の(1×1)マルチモード導波路の別の構成例を説明するための図である。

【図11】本発明のマルチモード導波路の構成例を説明するための図である。

【図12】従来型の全光型光スイッチの導波路の構成を説明するための図である。

【図13】従来型の全光型光スイッチにおけるスイッチング特性を説明するための図である。

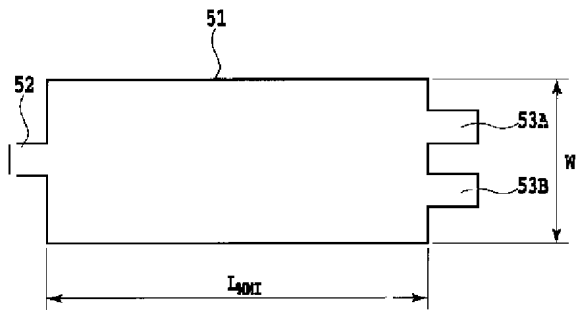
【図14】光増幅器の利得飽和特性を説明するための図で、(a)は、利得Gの入力光強度依存性を説明するための図で、(b)は、出力光強度Iの入力光強度依存性を説明するための図である。

【図15】光振幅リミッターの特性を説明するための図である。

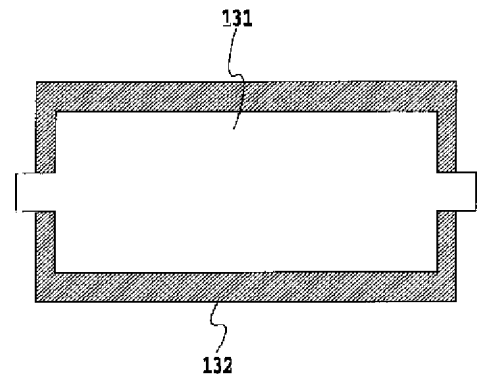
【符号の説明】

- 11 基板
- 12、13 導波路
- 14 入力ポートA
- 15 入力ポートB
- 16 出力ポートA
- 17 出力ポートB
- 41 入力光パルス列
- 42 光振幅等化器
- 43 出力光パルス列
- 51 マルチモード導波路
- 52 入力部
- 53A、53B 出力部
- 61、64 マルチモード導波路
- 62、65 入力部
- 63A、63B、66A、66B 出力部
- 71 入力光用光ファイバ
- 72 出力光用光ファイバ
- 73 マルチモード導波路
- 74、75 スポットサイズ変換部
- 81 マルチモード導波路
- 82 多重反射型マルチモード導波路
- 83 全反射ミラー
- 91 マルチモード導波路
- 92 導波路
- 93 オーバークラッド
- 94 アンダークラッド
- 95 入力部
- 96 出力部
- 101 導波路
- 102 入力部
- 103 出力部
- 131 導波路
- 132 ヒータ
- 141 導波路
- 142A、142B 応力付与部
- 151 マルチモード導波路
- 152 信号光入力部
- 153 信号光出力部
- 154 制御光入力部
- 155 制御光出力部

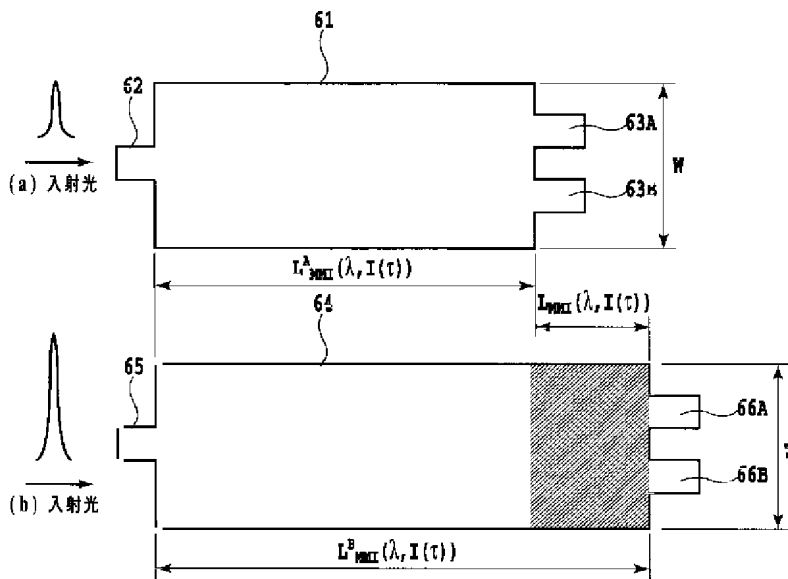
【図1】



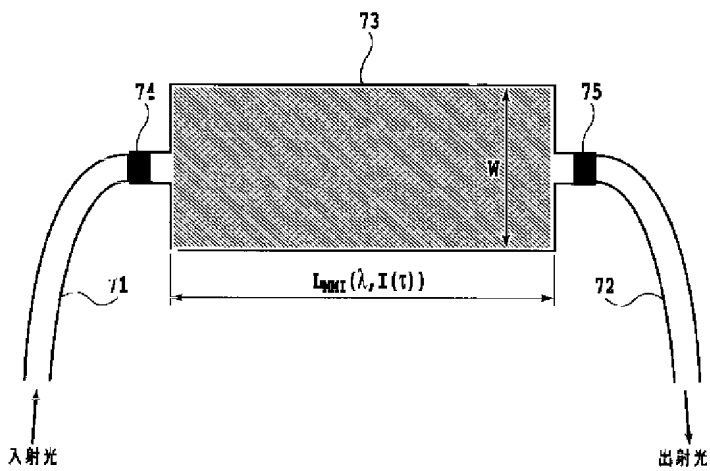
【図9】



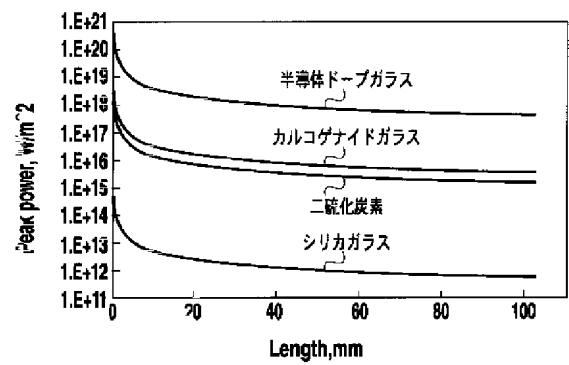
【図2】



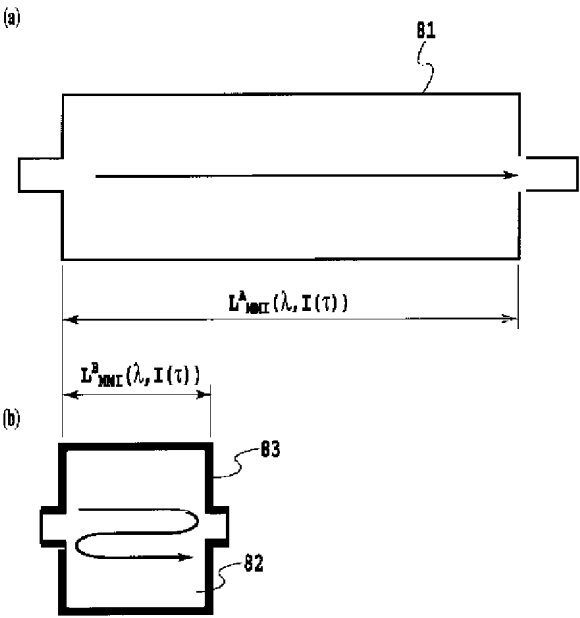
【図3】



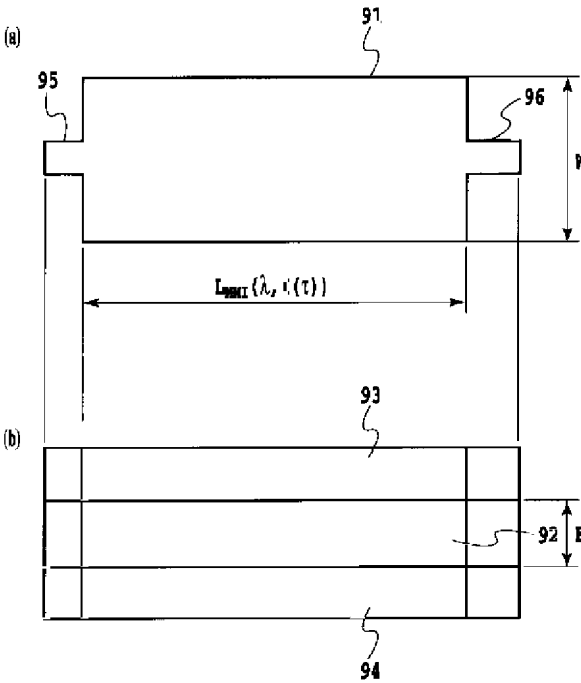
【図7】



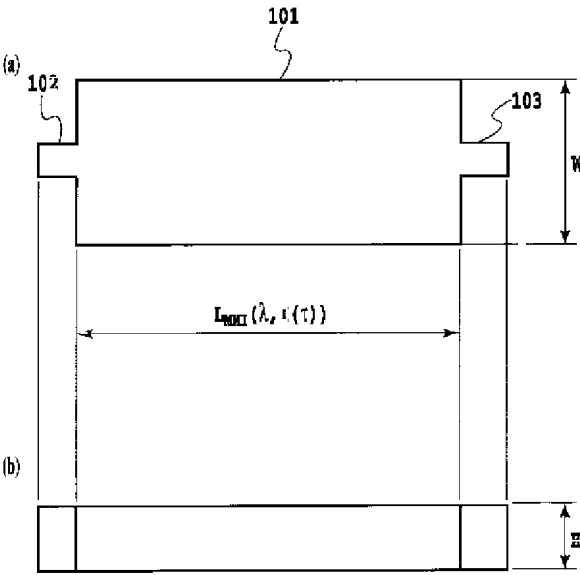
【図4】



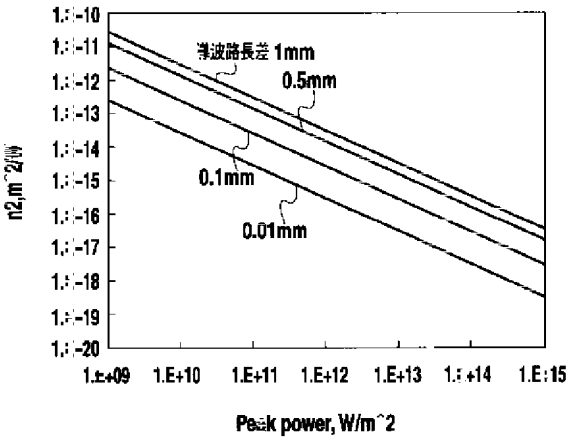
【図5】



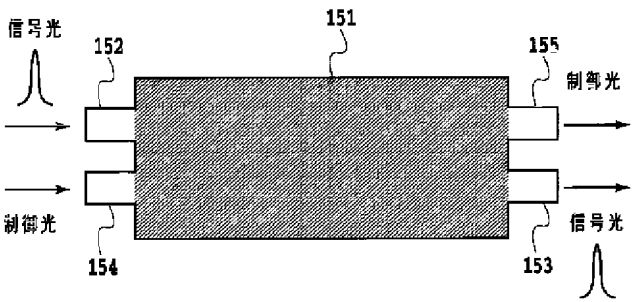
【図6】



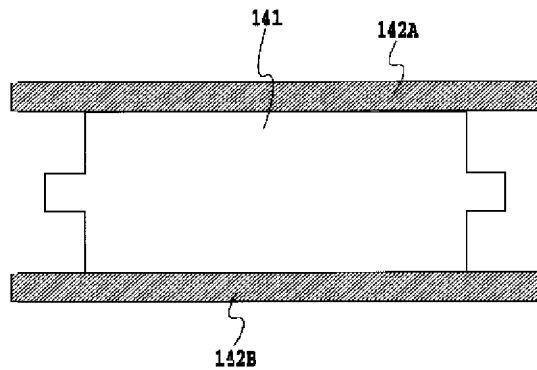
【図8】



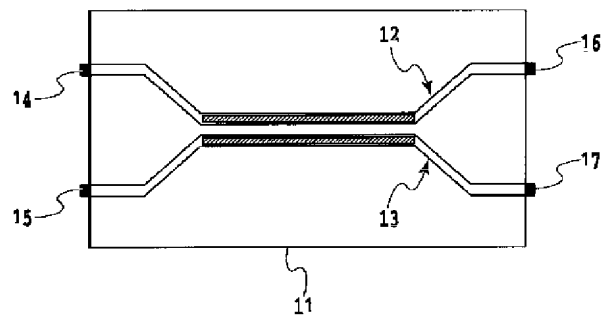
【図11】



【図10】



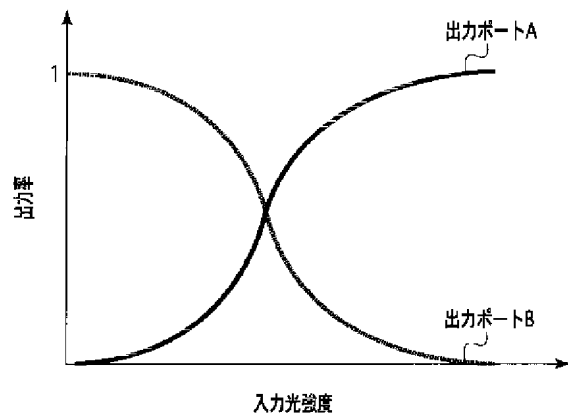
【図12】



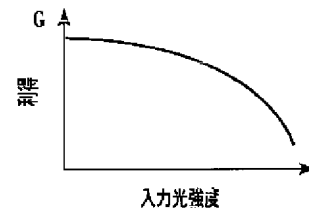
【図14】

【図15】

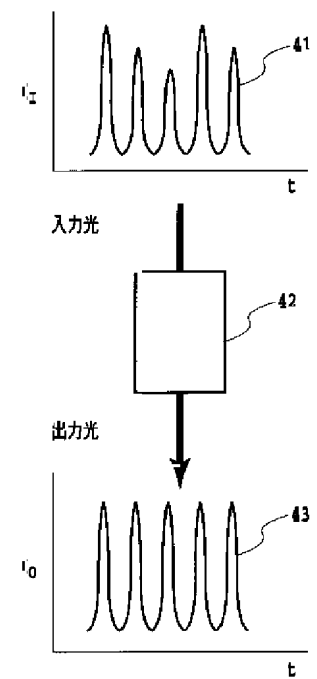
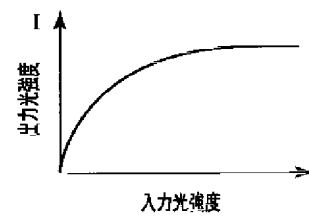
【図13】



(a)



(b)



フロントページの続き

(72)発明者 神徳 正樹
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2H047 KA04 KA05 KB01 LA09 LA12
LA15 MA05 NA07 NA08 QA01
QA04 RA08
2K002 AA02 AB04 AB09 AB33 BA01
BA13 CA15 CA16 DA06 EA04
HA11 HA27